INFORMATION PROTÉGÉE

DATE 29/4/92

LIXIVIATION SOUTERRAINE DE L'OR: ESSAIS PRÉLIMINAIRES DE LIXIVIATION EN COLONNE DU MINERAI BOUSQUET V AVEC LA THIOURÉE

G. Deschênes

mars 1991

This document is an unedited internal report prepared primarily for the use of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET)

Ce document est un rapport préliminaire non-revisé et destiné principalement pour la documentation et de discussion interne. Il ne représente pas nécessairement l'expression officielle de l'opinion du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)

Projet: 30.52.99

Recouvrement des coûts

CONFIDENTIEL

Numéro de dossier: 50144
La lixiviation souterraine de l'or par la thiourée

2 of 99

LABORATOIRES DES SCIENCES MINÉRALES
RAPPORT DE DIVISION LSM 91-14 (RC)

MICROMEDIA

LIXIVIATION SOUTERRAINE DE L'OR: ESSAIS PRÉLIMINAIRES DE LIXIVIATION EN COLONNE DU MINERAI BOUSQUET V AVEC LA THIOURÉE

par

G. Deschênes*

RÉSUMÉ

Ce rapport discute des résultats des essais préliminaires de lixiviation en colonne par la thiourée dans le but de récupérer l'or et également l'argent d'un minerai sulfureux appartenant à Minerais Lac. Les résultats de cette étude sont suffisamment prometteurs pour justifier la continuité des travaux afin d'établir la technologie de lixiviation par percolation avec la thiourée. La récupération de l'or se chiffre à 64 % avec une consommation de thiourée de l'ordre de 2 kg/t. L'aspect de la cinétique de lixiviation laisse croire que l'extraction de l'or peut dépasser les 70 %. Dans le meilleur des cas, l'extraction de l'argent a atteint 74 %.

Mots-clés: Or, lixiviation, colonne, souterraine, thiourée, argent, percolation.

---

*Chercheur

92-04580/

UNDERGROUND LEACHING OF GOLD: PRELIMINARY TESTING OF COLUMN LEACHING OF BOUSQUET V ORE USING THIOUREA

by

G. Deschênes*

ABSTRACT

This report examines the results from the preliminary testing of column leaching using thiourea for the recovery of gold and silver from a sulphide ore belonging to Minerais Lac. The results are sufficiently promising to justify continuing the work in order to establish the technology of percolation leaching using thiourea. The recovery rate for gold is 64%, using approximately 2kg/t of thiourea. Leaching kinetics suggests that the recovery rate for gold could surpass 70%. In the best case, the recovery rate for silver reached 74%.

Key words: column, gold, leaching, percolation, silver, thiourea, underground

---

*Researcher

INTRODUCTION

La lixiviation d'un minerai peut se faire avec ou sans agitation. Parmi les techniques utilisant la lixiviation sans agitation, nous retrouvons la percolation en tas ou encore le traitement en vat. Cette approche est habituellement faite en surface ou l'infrastructure est facilement accessible. Toutefois, la lixiviation du métal directement sur le site se pratique occasionnellement et à l'échelle industrielle. La lixiviation d'un minerai, directement sur le site, peut être effectuée de deux façons. Le minerai peut être dissout en injectant une solution dans la formation géologique où le minerai est localisé. Cette méthode est appelée lixiviation in-situ. Le minerai peut être extrait par dynamitage et traité dans la mine. Cette méthode est appelée traitement souterrain (in-site).

Le traitement in-situ nécessite l'injection d'un lixiviant dans des trous de forage. Après dissolution du métal cible, la solution est pompée, par des trous amménagés à cet effet, puis traitée pour en extraire le contenu métallique. La zone géologique qui fait l'objet de ce traitement doit posséder une minéralisation suffisamment poreuse pour permettre la diffusion de la solution afin d'atteindre le métal à dissoudre. De plus, la zone traitée doit posséder une morphologie de fracture favorable à la récupération de la plupart du liquide injecté.

Dans le cas de la lixiviation souterraine, la zone géologique n'a pas à présenter une fracturation aussi élaborée que la lixiviation in-situ puisque la zone servant à cette lixiviation souterraine sera dynamitée. Toutefois, les fragments obtenus devront afficher une porosité adéquate à la diffusion de la solution.

La lixiviation in-situ montre certains avantages économiques par rapport au traitement conventionnel qui se base sur l'exploitation minière et le traitement métallurgique. Au départ, cette technique permet de récupérer le métal d'un gisement qui serait économiquement intraitable de façon conventionnelle pour différentes raisons telles que la teneur, la profondeur, le tonnage. De plus, les coûts en capital et d'opération sont généralement plus faibles pour le traitement in-situ; le démarrage de l'opération est plus rapide et l'impact environnemental est moindre que pour une opération conventionnelle (Chamberlin).

L'uranium, le cuivre, le sel, la potasse et le soufre sont récupérés par lixiviation in-situ. Des travaux sont en cours pour mettre au point la récupération de l'or et de l'argent (Jacobson et Murphy; Van Staden et Laxen; McGill).

CANMET a contribué au développement de la lixiviation souterraine de l'uranium. Les premiers travaux remontent au milieu des années soixante (Harrison, Gow and Ivarson). Denison Mines Ltée, Kerr-Addison Mines et Agnew Lake Mines sont des compagnies qui ont participé au développement du domaine.

Denison Mines Ltée utilise commercialement la lixiviation souterraine de l'uranium. C'est suite à la signature d'une importante entente entre cette compagnie et le gouvernement fédéral qu'un projet pilote a été réalisé en 1984; projet auquel participaient l'université Laurentien, l'université Waterloo et CANMET (Marchbank).

En 1987, la division Est-Malartic de Minerais Lac entrepris un projet visant à développer une méthode de traitement souterraine d'un minerai sulfureux à basse teneur en or (Lanouette et Jean). Les lixiviants considérés étaient la thiourée et le BioD. D'après leurs travaux, le BioD génère une importante consommation de réactifs et la récupération de l'or de cette solution n'est pas encore bien déterminée. Dans une série préliminaire d'essais par agitation, la lixiviation a permis une récupération de l'or de 80 % avec une consommation de thiourée 4.4 kg/t. Les essais de lixiviation en colonne sur du minerai à -6.35 mm ont produit une extraction de l'or de 57 % avec une consommation de thiourée de 4.2 kg/t.

Afin d'évaluer le potentiel du traitement de la lixiviation en colonne du gisement Bousquet V par la thiourée, une entente coopérative est intervenue entre Minerais Lac et Les Laboratoires des Sciences Minérales, pour poursuivre les travaux. Ce rapport présente les résultats des essais préliminaires.

PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Un lot de minerai, provenant du gisement Bousquet V, a été broyé à 100 % -9.52 mm. Il a été tamisé et la fraction -9.52 mm, + 1.68 mm a été conservée pour les essais. Le minerai grossier a été homogénéisé et séparé en quatre lots de 14 kg chacun. Un échantillon

représentatif a été soumis pour analyse. Les résultats apparaissent au tableau 1. Les charges de 14 kg ont été versées dans des colonnes en PVC de 10.2 cm de diamètre (hauteur respective de la charge ~110 cm). Le montage apparait à la figure 1.

Un traitement avec une solution d'acide sulfurique (0.875 mL/L H_2SO_4 97 %; débit:0.46-0.48 mL/min/cm^2) précède la lixiviation avec la thiourée. Cette étape dure de 5 à 9 jours, de façon à obtenir un pH final de 2.1 à 2.5. La lixiviation de l'or est pratiquée par percolation d'une solution de thiourée qui est distribuée sur le minerai à un débit de 4.9 x 10^{-3} mL/min/cm^2 avec une pompe périlstatique Gilson.

La solution de thiourée est préparée à partir d'eau distillée et de produits chimiques de qualité analytique. Dans le cas ou la solution de thiourée est préalablement oxydée avec du peroxyde d'hydrogène, une nouvelle alimentation de lixiviant est préparée tous les 2 à 3 jours. L'addition d'acide sulfurique est ajustée pour obtenir un pH final (après lixiviation) de l'ordre de 2 à 3 unités selon le cas. Les échantillons de solution de percolation sont analysés pour évaluer les teneurs en or, fer, cuivre et thiourée. Le dosage de ces éléments est fait selon les méthodes utilisées dans les travaux précédents (Deschênes et Ghali) ou encore, occasionnellement, par analyse par absorption atomique. Afin d'éviter la précipitation des éléments durant la période précédant l'analyse, les échantillons liquides sont acidifiés, au besoin, et le facteur de dilution est considéré dans les calculs. Le résidu solide originant de la lixiviation est soumis à la pyroanalyse afin d'évaluer l'or et l'argent. Un facteur de pondération a été apporté aux analyses liquides de l'or et de l'argent afin de faire correspondre les extractions totales avec les pyroanalyses des solides (utilisés comme référence). Le potentiel rédox des solutions est mesuré avec une électrode Ag,AgCl/KCl (4M).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La lixiviation de l'or par la thiourée procède selon la réaction:

$$Au + 2\ CS(NH_2)_2 \rightarrow Au(CS(NH_2)_2)_2^{+} + é \qquad E_H = -0.380\ V \quad (1)$$

Tableau 1: Composition chimique et minéralogique du minerai Bousquet V

Élément	Composition	Minéralogie
Au (g/t)	2.72	Phases majeures: quartz et corensite.
Ag (g/t)	1.66	Phases mineures: pyrite et muscovite.
SiO_2 (%)	50.18	
S (%)	5.09	
Cu (%)	0.050	
Fe (%)	10.4	
Mg (%)	2.7	
Al (%)	6.7	
Pb (%)	0.022	
Zn (%)	0.033	

et celle de l'argent par:

$$Ag + 3\ CS(NH_2)_2 \rightleftharpoons Ag(CS(NH_2)_2)_3^+ + é \qquad (2)$$

Ces réactions sont de nature électrochimique. Les travaux antérieurs ont démontrés clairement que le système optimum dépend simultanément du pH et du potentiel rédox de lixiviation (Deschênes, Dupuis et Ghali). Dans ces essais, nous avons conséquemment contrôlé expérimentalement le pH lors de la lixiviation et évalué l'effet du potentiel de départ par addition d'un agent oxydant (H_2O_2).

Le tableau 2 montre les résultats des essais réalisés à différentes conditions d'acidité, avec et sans addition d'oxydant. Le pH a été contrôlé durant les essais en modifiant la concentration initiale d'acide sulfurique, de façon à obtenir un pH final spécifique.

Avec une concentration initiale de thiourée de 2.0 g/L, il n'est pas nécessaire d'utiliser un oxydant pour obtenir une bonne extraction de l'or. A pH 2, l'extraction de l'or dépasse les 55 % (essai 1). La lixiviation dissout passablement de fer qui provient probablement de la pyrite; ce qui génère des ions ferriques qui favorisent la dissolution de l'or par la thiourée.

En effet, il a été démontré que la pyrite génère des ions ferrique lorsque mise en contact avec une solution d'acide sulfurique et de peroxyde d'hydrogène (Eary). La réaction est:

$$2\ FeS_2 + 15H_2O_2 \rightleftharpoons 2\ Fe^{3+} + 4SO_4^{2-} + 14H_2O + 2H^+ \quad (3)$$

Il se peut que le disulfure de formamidine intervient également dans la disolution de la pyrite à cause de son caractère oxydant.

A pH 2, l'addition de peroxyde d'hydrogène permet d'augmenter la récupération de l'or et de l'argent. En effet, l'extraction de l'or passe de 56 % à 64 % et celle de l'argent de 16 % à 33 % (essais 1 et 2). La consommation de thiourée ne semble pas tellement affectée par l'addition de H_2O_2. D'ailleurs, elle semble diminuer légèrement, passant de 2.3 à 2.1 kg/t.

Tableau 2:

Récupération de l'or et de l'argent par lixiviation en colonne avec une solution acide de thiourée. prétraité à l'acide; thiourée:2.0 g/L; 4.9 x 10^{-3} mL/min/cm^2; temp. amb.; 85 j.

#	Essai		Récupération			Consommation de thiourée (kg/t)
	pH	%H_2O_2	Au%		Ag%	
			Exp.	Proj.	Exp.	
1	2	-	56	63	16	2.3
2	2	0.0030	64	74	33	2.1
3	3	-	60	65	9	1.8
4	3	0.0036	59	65	74	2.7

Exp.: Obtenu expérimentalement
Proj.: Obtenu par projection de la courbe de cinétique de dissolution.

La quantité de peroxyde d'hydrogène ajouté au système est faible (3.0 x 10^{-3} %). Toutefois, elle est suffisamment importante pour oxyder environ 20 % de la thiourée initialement présente et ceci produit dans la liqueur de lixiviation un potentiel rédox plus élevé. La première étape d'oxydation de la thiourée est la formation du disulfure de formamidine selon la réaction:

$$2\ CS(NH_2)_2 \rightleftharpoons (CS(NH)(NH_2))_2 + 2H^+ + 2\acute{e} \qquad E_H = -0.420\ V \quad (4)$$

Le potentiel rédox d'une solution de thiourée à 2.0 g/L est de l'ordre de 140 mV (Ag,AgCl/KCl(4M)). L'addition de peroxyde d'hydrogène 3.0 x 10^{-3} % amène cette valeur aux alentours de 200 mV (195) après 15 minutes de réaction. Ce potentiel rédox plus élevé

contribue généralement à l'obtention d'une meilleure cinétique de lixiviation (Deschênes et Ghali).

Cette oxydation de la thiourée en disulfure de formamidine est un phénomène temporel. Par conséquent, le renouvellement de la solution de lixiviation est nécessaire pour conserver une certaine quantité de disulfure de formamidine en solution. Le vieillissement de la solution occasionne la décomposition du disulfure de formamidine selon (Deschênes):

$$(CS(NH)(NH_2))_2 \rightarrow CS(NH)_2 + \text{produit sulfinique} \qquad (5)$$

La cinétique de réaction d'oxydation de la thiourée et l'équilibre thiourée/disulfure de formamidine vont être étudiés plus en détails dans la suite de ce projet. L'équilibre fer/thiourée est également un paramètre susceptible d'être évalué.

La figure 2 montre la cinétique de dissolution de l'or et de l'argent pour l'essai 1. Nous voyons que la lixiviation de l'or n'a pas atteint son équilibre après 85 jours. (Cet équilibre est caractérisé par la formation d'une branche de courbe parabolique.) Le plateau serait éventuellement atteint après 120 jours avec une extraction de l'or de 63 %. La figure 3 nous montre que cet équilibre est encore beaucoup plus éloigné pour l'essai 2 que pour l'essai 1. Il se situe au-delà de 120 jours avec une extraction de l'or extrapolée à 74 %. C'est donc cet essai qui donne les meilleurs résultats.

L'essai 3 a atteint un équilibre avec une extraction de l'or de 65 % après 120 jours (fig.4). Il semble que l'essai 4 nécessite environ 100 jours avant d'atteindre cet équilibre pour obtenir une extraction de l'or avoisinnant 65 %. A pH 3, l'addition de peroxyde d'hydrogène ne produit pas de changement significatif de l'extraction de l'or qui est de l'ordre de 60 % (essais 3 et 4). L'addition de H_2O_2 occasionne cependant un accroissement important de l'extraction de l'argent qui augmente de 9 % à 74 %; ce qui est aussi accompagné d'une augmentation de la consommation de thiourée de 1.8 kg/t à 2.7 kg/t (Tableau 2).

Sans oxydant, l'augmentation de pH 2 à pH 3 favorise la récupération de l'or (essais 2 et 3). En effet, l'extraction de l'or augmente de 56 % à 60 %. La consommation de thiourée

est diminuée de 0.5 kg/t (de 2.3 kg/t à 1.8 kg/t). La récupération de l'argent est cependant atténuée avec l'augmentation du pH; elle diminue de 16 % à 9 %.

Il apparait évident que le minerai Bousquet V se prête à la lixiviation en colonne avec une solution de thiourée. Les résultats obtenus par Minerais Lac ont été confirmés puis améliorés. En effet, Est Malartic a obtenu 59 % d'extraction de l'or avec une consommation de thiourée de 4.2 kg/t. Nous avons, dans le meilleur des cas, obtenu une extraction de l'or de 65 % avec une consommation de thiourée de 1.8 kg/t. De plus, la courbe de dissolution de l'or laisse croire qu'il est possible d'atteindre 74 % d'extraction de l'or.

CONCLUSIONS

Le gisement Bousquet V réagit favorablement au traitement de lixiviation en colonne avec la thiourée pour récupérer l'or. La lixiviation à pH 2, en additionnant une faible quantité de H_2O_2 à une solution de thiourée à 2.0g/L, présente le système optimum. La récupération de l'or se chiffre à 64 % après 85 jours de percolation avec une consommation de thiourée de 2 kg/t. L'allure de la courbe de lixiviation porte à croire qu'il est possible d'atteindre 74 % de récupération de l'or.

Les résultats de cette étude préliminaire sont suffisamment bons pour justifier la continuité de cette étude afin de définir les paramètres de lixiviation par percolation d'une solution de thiourée.

RECOMMENDATIONS

Suite aux résultats de cette étude préliminaire, il est nécessaire d'évaluer plus en détails les paramètres de lixiviation par percolation d'une solution dans le but de récupérer l'or du minerai Bousquet V. Ces paramètres sont:

- la granulométrie du minerai;
- le prétraitement à l'acide précédant la lixiviation de l'or;
- le débit de percolation de la solution de lixiviation;

- la concentration de thiourée;
- l'utilisation du H_2O_2;
- l'agglomération;
- la recirculation de la solution de thiourée à la lixiviation;
- l'utilisation de l'eau de drainage acide localisée dans cette région de Val d'Or comme source: 1- d'acide pour le prétraitement;
  2- d'oxydant pour la lixiviation de l'or;
  3- de lixiviation biologique pour prétraiter le minerai avant la lixiviation de l'or afin de diminuer la consommation d'acide;
- évaluation technico-économique préliminaire.

La phase II de cette étude a été démarrée en septembre 1990. Cette phase a pour objectif de définir ces paramètres.

La récupération de l'or de la solution de lixiviation doit également être établie. L'utilisation du charbon activé est une option possible. Pour se faire, un contrat a été accordé à l'université Queen's qui se chargera de développer le traitement d'une solution de thiourée avec le charbon activé pour en extraire l'or.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier M.T. Skaff et P.J.A. Prud'homme pour leur assistance dans la réalisation des essais et les laboratoires de chimie pour les analyses. L'auteur exprime des remerciements à M J. McMullen, Mme M. Lanouette et M P. Jean de Minerais Lac, division Est Malartic, pour leur participation et collaboration dans ce projet ainsi que pour la participation dans le financement des travaux accordés aux universités Laval et Queen's.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chamberlin P.C., Status of heap, dump, and in situ leaching of gold and silver; Proc. Worl Gold'89, Reno, Nevada, Nov.5-8, 225-232, 1989.

Deschênes G. et Ghali, E., Leaching of gold from a chalcopyrite concentrate by thiourea; Hydromet.; 20; 179-202; 1988.

Deschênes, G., Ritcey, G.M. and Ghali, E, Reduction of gold and silver by hydrogen from sulfuric thiourea solutions; Proc. Precious Metals '89; Feb. 27-March 2, 1989, Las Vegas, 341-358, 1989.

Deschênes, G., Dupuis, C. and Ghali, E., Eh-pH Diagrams for the Au-$CS(NH_2)_2$-H_2O system; Proc. 13th IPMI Conf. Montréal; June 1989, 347-362, 1989.

Deschênes, G., Contribution à l'étude du traitement de l'or par la thiourée; thèse de doctorat, université Laval, 1989.

Eary, L.E., Catalytic decomposition of hydrogen peroxide by ferric ion in dilute sulfuric acid solutions; Metall. Trans. B; 16: June 1985; 181-186.

Harrison, V.G., Gow, W.A. and Ivarson, B.C., CANMET report 65-13, July 1965.

Jacobson , R.H. and Murphy, J.W., In situ Mining of silver; Proc. Silver-Exploration, Mining and Treatment, IMM, 279-288, 1988.

Lanouette, M. et Jean, P. Essais de traitement du gisement de Bousquet V avec la thiourée et le BioD; Minerais Lac, division Est Malartic, rapports internes 1, 2 et 3; 1988.

Marchbank, A., Update on uranium leaching at Denison Mines; Proc. Ann. Gen. Mtg Biominet, Sudbury, Nov. 5, 1987, 3-18; 1987.

McGill, S.L., US Bureau of Mines, Reno, Phone discussion, Dec. 1990.

Van Standen, P.J. and Laxen P.A., In-stope leaching with thiourea; J.S. Afr. Inst. Min. Metall, 89; 8; 221-229; 1989.

ANNEXE

Analyse du minerai Bousquet V (fraction -1.68 mm)

Élément		Composition
Au	(g/t)	2.46
Ag	(g/t)	1.91
SiO_2	(%)	48.59
S	(%)	4.82
Cu	(%)	0.046
Fe	(%)	9.5
Mg	(%)	2.6
Al	(%)	8.2
Pb	(%)	0.030
Zn	(%)	0.036

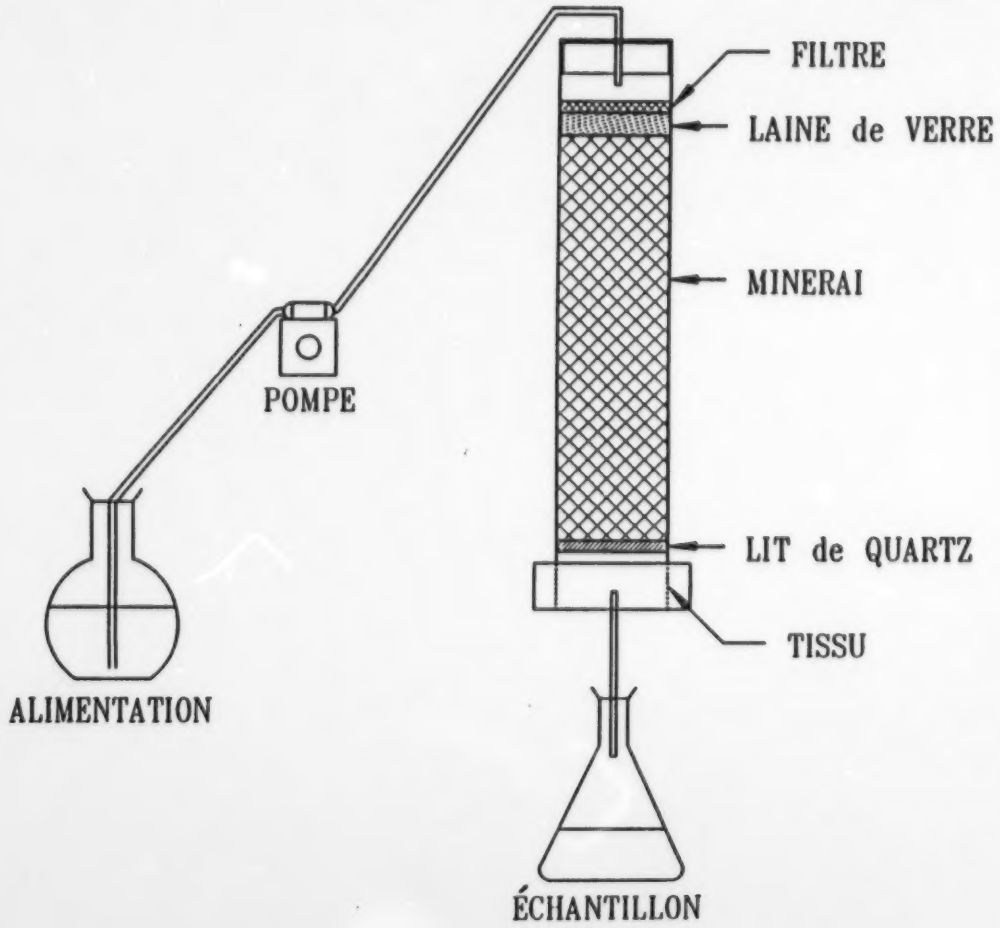

Figure 1: **Montage de lixiviation en colonne**

INFORMATION PROTÉGÉE

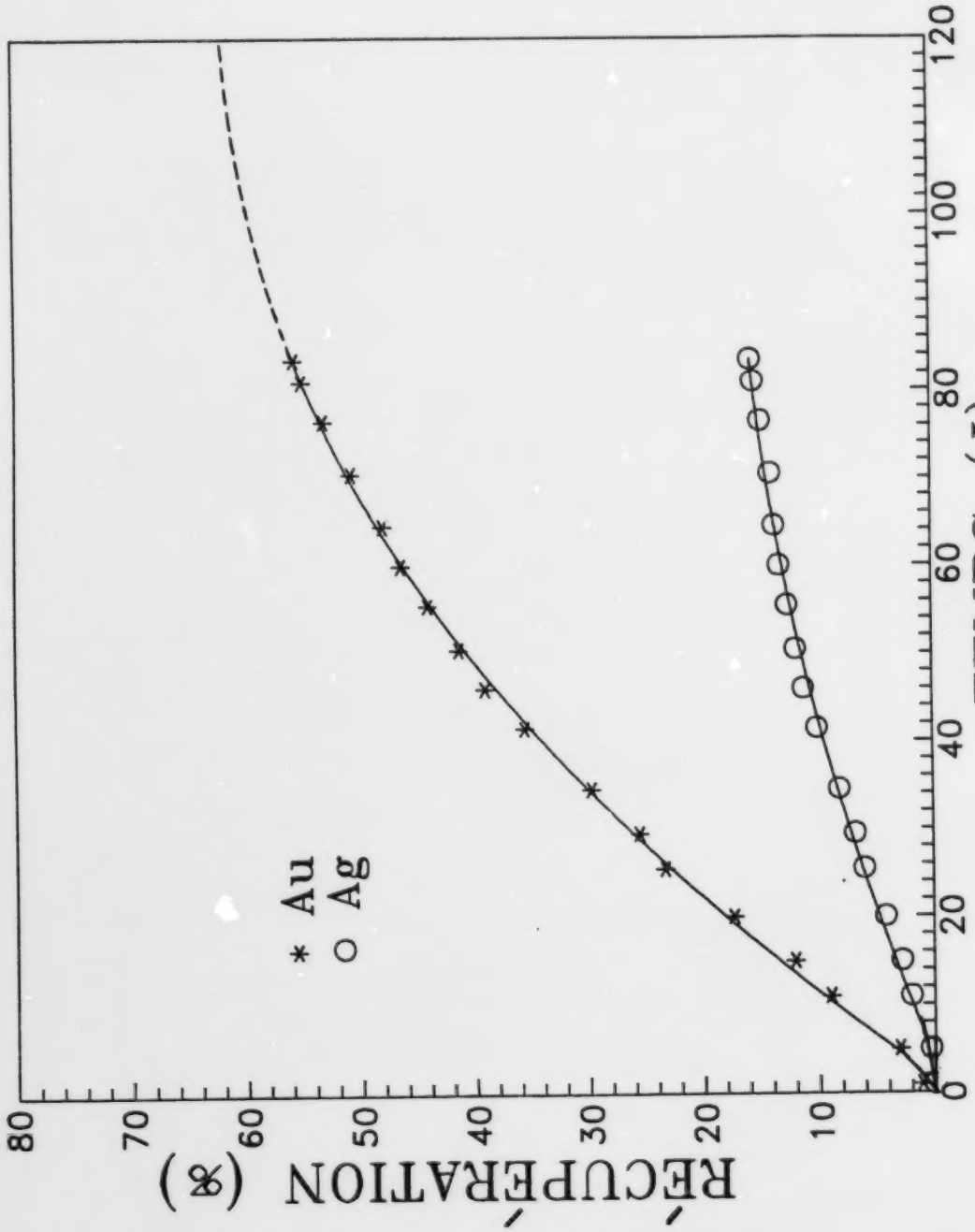

Figure 2: Courbe de lixiviation de l'or et de l'argent par percolation.
Thiourée 2.0g/L, pH 2, débit 4.9 x 10^{-3}mL/min/cm^2; minerai -9.52 mm, +1.68 mm.

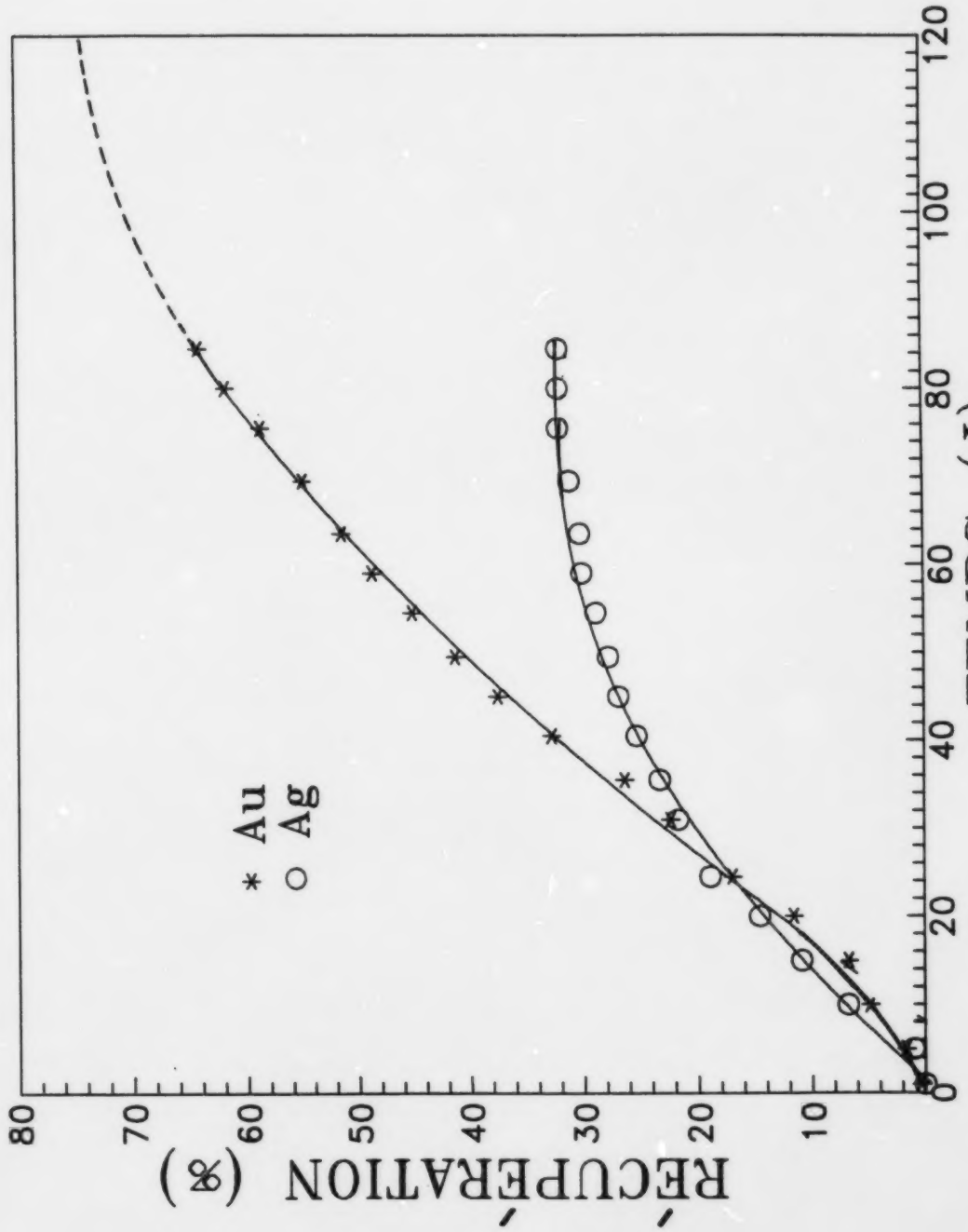

Figure 3: Courbe de lixiviation l'or et de l'argent par percolation.
Thiourée 2.0g/L, H_2O_2 3 x 10^{-3}%, pH 2, débit 4.9 x 10^{-3} mL/min/cm^2; minerai -9.52 mm, +1.68 mm.

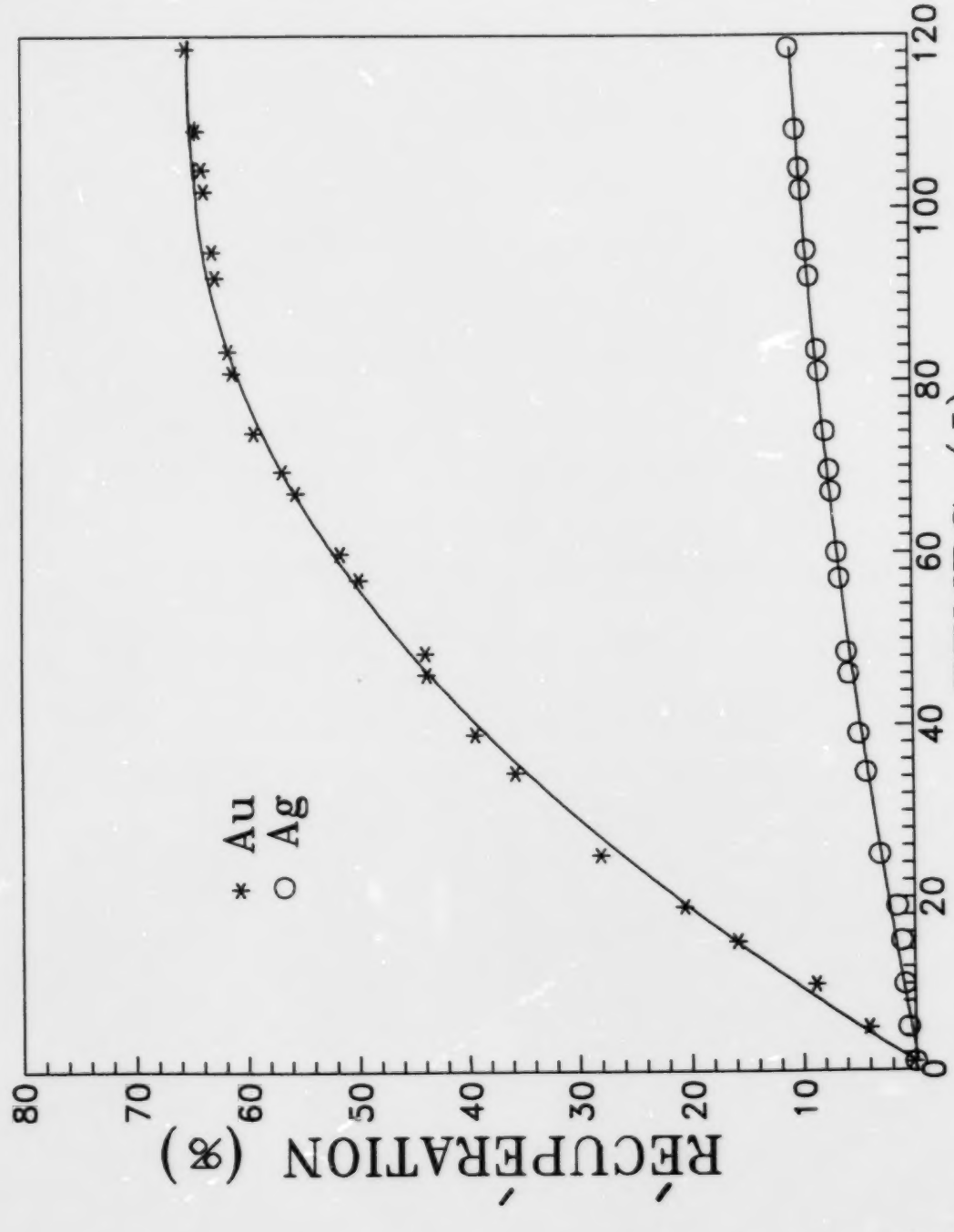

Figure 4: Courbe de lixiviation de l'or et de l'argent par percolation.
Thiourée 2.0 g/L, pH 3, débit 4.9 x 10^{-3} mL/min/cm^2; minerai -9.52 mm, +1.68 mm.

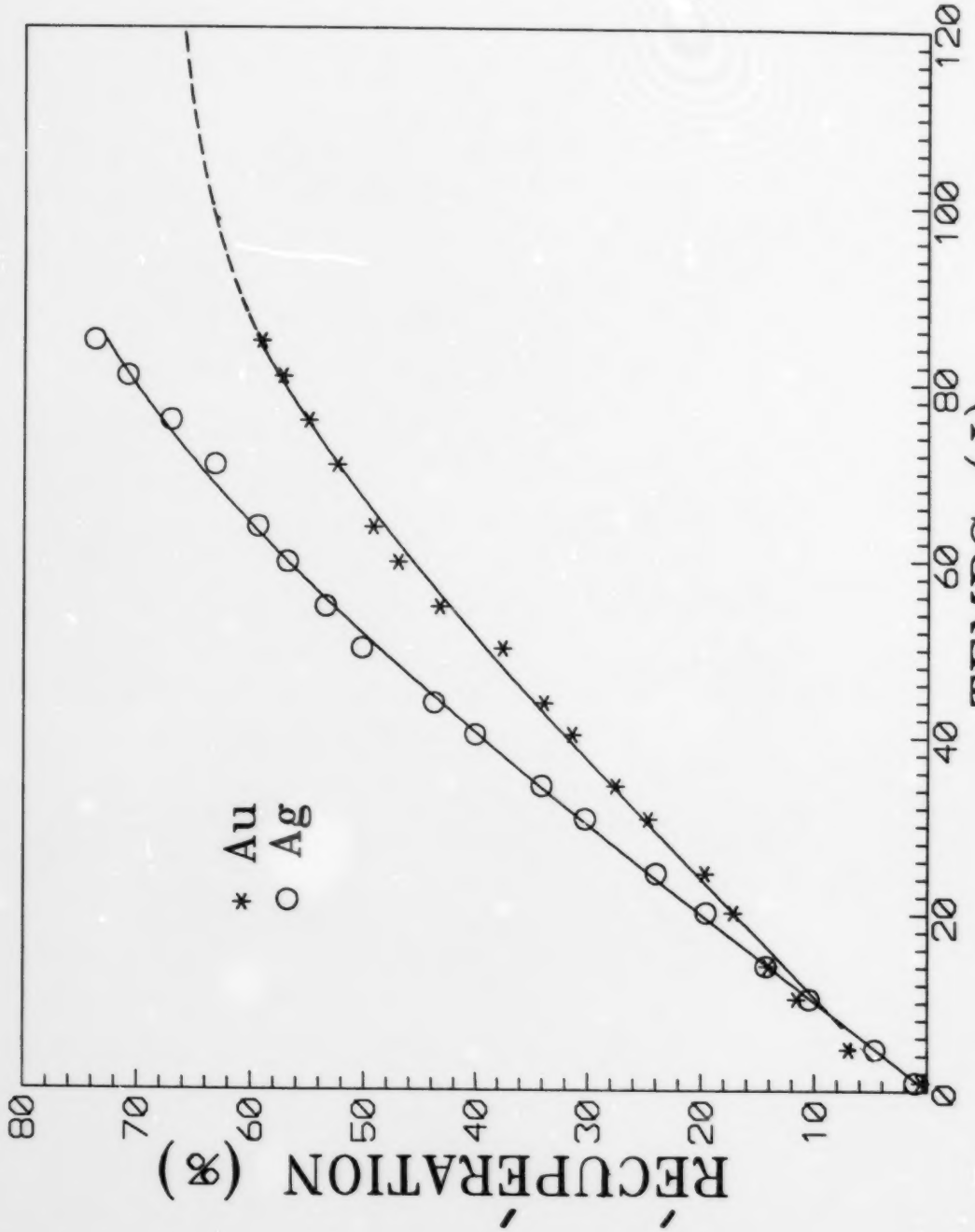

Figure 5: Courbe de lixiviation de l'or et de l'argent par percolation.
Thiourée 2.0 g/L, H_2O_2 3.6 x 10^{-3} %, pH 3, débit 4.9 x 10^{-3} mL/min/cm^2; minerai -9.52 mm, +1.68 mm